

3 Технічні засоби системи захисту інформації. Стандартизація та метрологічне забезпечення систем ТЗІ. Визначення відповідності засобів ТЗІ

УДК 621.317

АНАЛІЗ ВИМІРЮВАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ПРИ ВИКОНАННІ ФУНКЦІЙ ЗБЕРІГАННЯ, ВІДТВОРЕННЯ ТА ПЕРЕДАВАННЯ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ ДЕРЖАВНИМИ ЕТАЛОНАМИ З ОПТИКИ

Олександр Шевченко, Леонід Грищенко*

Держспоживстандарт України, *ННЦ «Інститут метрології»

Анотація: Наведено вимірювальні рівняння для чотирьох державних еталонів з оптики для випадків відтворення, зберігання та передачі одиниць вимірювань.

Summary: Measuring equation for four national optical standard suitable reproduction, storage and transfer of measurement units are considered.

Ключові слова: Вимірювальне рівняння, державний еталон з оптики, функції відтворення, зберігання та передача одиниці вимірювання.

Зазвичай вимірювальні рівняння пишуться при проведенні вимірювань фізичних величин. Для випадку аналізу вимірювань у державних первинних еталонах (ДЕ), які мають відтворювати, зберігати та передавати одиницю вимірювань, ці питання досліджено недостатньо. Для задач технічного захисту інформації (ТЗІ) ці питання можуть знайти свої застосування для проведення прецизійного калібрування засобів вимірювальної техніки, що використовуються під час випробувань з ТЗІ [1 – 11].

І Державний первинний еталон одиниць середньої потужності та енергії лазерного випромінювання. ДЕТУ 11-04-97

Діапазони значень середньої потужності та енергії лазерного випромінювання становлять від $1 \cdot 10^{-4}$ Вт до 1 Вт та від $1 \cdot 10^{-4}$ до 1 Дж при довжинах хвиль 0,5 мкм і 10,6 мкм. Існує лише один принцип вимірювання потужності лазерного випромінювання – калориметричний, який забезпечує найвищу точність при застосуванні метода електричного заміщення при калібруванні і дозволяє «прив'язати» ДЕ до еталонів вольт і ома. На калориметричному принципі побудовано один з основних функціональних блоків еталона – еталонний первинний вимірювальний перетворювач (ЕПВП). У табл. 1 наведено такі позначення: Q^{PE} – теплота що виділяється на ЕПВП у державному еталоні (ДЕ) при опромінюванні лазером; $P^{PE}_{СП}$ – середня потужність (СП) лазерного випромінювання; T^{PE} – температура, до якої нагрівається чутливий елемент ЕПВП при опроміненні лазером; $U^{PE}_{термо-ЕРС}$ – термо-ЕРС на ЕПВП ДЕ; $T^{PE}_{заміщення=}$ – температура, до якої нагрівається чутливий елемент при подачі напруги заміщення; $U^{PE}_{заміщення=}$ – напруга заміщення постійного струму на ЕПВП ДЕ; $Q^{PE}_{заміщення=}$ – теплота заміщення при постійній напрузі. $I_{свідок}$ – струм на приймачі «свідку». Ті самі фізичні величини з верхнім індексом ^{BE} відносяться до вторинного еталону.

Таблиця 1 – Відтворення, збереження та передавання одиниці в ДЕТУ 11-04-97

Первинний еталон	Вторинний еталон
ВІДТВОРЕННЯ	
$P^{PE}_{СП} \Rightarrow Q^{PE} \rightarrow T^{PE} \rightarrow U^{PE}_{термо-ЕРС} \rightarrow U^{PE}_{заміщення=}$ $\rightarrow T^{PE}_{заміщення=} \rightarrow T^{PE}_{заміщення=} \rightarrow Q^{PE}_{заміщення=} \rightarrow U^{PE}_{термо-ЕРС=} \rightarrow U^{PE}_{заміщення=}$	
ЗБЕРЕЖЕННЯ	
$U^{PE}_{заміщення=} \Rightarrow Q^{PE}_{заміщення=} \rightarrow T^{PE} \rightarrow$ $U^{PE}_{термо-ЕРС=} \rightarrow P^{PE}_{СП}$	
ПЕРЕДАВАННЯ	
$P^{BE}_{СП} \Rightarrow I_{свідок}$	$P^{BE}_{СП} \Rightarrow U^{BE} \approx \rightarrow Q^{PE} \rightarrow T^{PE} \rightarrow U^{PE}_{термо-ЕРС} \Rightarrow$ $U^{PE}_{заміщення=} \Rightarrow Q^{PE}_{заміщення=}$
$U^{PE}_{заміщення=} \Rightarrow$	$\Rightarrow U^{BE}_{заміщення=}$

Потужність лазерного випромінювання подається на чутливий елемент первинного еталона, проводяться всі операції як при відтворенні та зберіганні, а потім все те саме проводиться на вторинному еталоні, а напруги при електричному заміщенні обох еталонів порівнюються.

Схема передавання одиниць є триступеневою, 1 – спочатку подається потужність лазера первинного еталона на ЕПВП, 2 – потім та сама потужність лазера подається на вторинний еталон, 3 – сигнали напруги заміщення первинного еталона та вторинного еталона порівнюються. Класичне рівняння вимірювань в такому випадку вкрай важко записати у звичній формі. ДЕ розроблено під керівництвом д. т. н. В. С. Соловйова.

II Державний еталон одиниці оптичної густини матеріалів. ДЕТУ 11-05-02

Державний еталон забезпечує відтворення одиниці оптичної густини матеріалів у таких діапазонах: у світлі, що проходить – для зональних оптичних густин і візуальної оптичної густини від 0,01 Б до 4,00 Б; для візуальних дифузної й інтегральної оптичних густин від 0,01Б до 6,00 Б; у відбитому світлі – від 0,01 Б до 2,50 Б.

В існуючих еталонних установках метод відтворення одиниці оптичної густини матеріалів засновано на законі зміни освітленості при зміні відстані до точкового джерела випромінювання – законі зворотних квадратів. Для відтворення одиниці оптичної густини вимірюється відношення потоків Φ_t та Φ_j , що падають на приймач випромінювання у випадках, коли досліджувана міра густини поміщена – Φ_t , або не поміщена – Φ_j , в оптичний тракт. З цією метою спочатку поміщують міру густини в оптичний тракт, встановлюють точкове джерело світлового випромінювання на заданій відстані l_1 від вхідної діафрагми і вимірюють рівень сигналу I_1 приймача випромінювання під дією потоку Φ_t , а потім видаляють міру густини і відсуювають точкове джерело на таку відстань l_2 від вхідної діафрагми, при якому рівень сигналу приймача випромінювання знову дорівнює I_1 . Відношення Φ_t/Φ_j визначається виразом: $\Phi_t / \Phi_j = l_2^2 / l_1^2$. Відзначимо, що вимірюваними величинами в даному методі є відстані l_1 та l_2 , що встановлюються в процесі проведення вимірювань, а значення рівня сигналу I_1 зазначається тільки для порівняння. Це дозволяє працювати при достатньо чутливих але необов'язково достатньо якісних приймачах випромінювання. На практиці дійсна освітленість відрізняється від величини, обумовленої законом зворотних квадратів. Це пов'язано з відмінністю реального джерела випромінювання від точкового, із впливом розсіювання і поглинання випромінювання атмосферою, що знаходиться між джерелом і приймачем, а також із нестабільністю (флуктуаціями) світлового потоку під час проведення вимірювань. Сумарний вплив всіх похибок менше 0,1 %. У даний час як приймачі випромінювання з малими шумами та високими лінійними характеристиками використовуються кремнієві фотодіоди, що працюють у фотогальванічному режимі. Загальний струм у ланцюзі фотодіода в фотогальванічному режимі позначено I^{PE} для первинного еталону та I^B для вторинного еталону. У табл. 2: D^{PE} – значення оптичної густини міри первинного еталона, одиниця якої відтворюється; D^{BE} – значення оптичної густини міри вторинного еталона, одиниця якої відтворюється; I – струм фотодіода приймача; Φ^{PE} – світловий потік, що падає на приймач випромінювання; $S(I)$ інтегральна чутливість вимірювального фотоприймача (фотодіода) при рівні фотоструму на його виході, рівному I .

Таблиця 2 - Відтворення, збереження та передавання одиниці в ДЕТУ 11-05-02

Первинний еталон	Вторинний еталон
ВІДТВОРЕННЯ	
$D^{PE} \Rightarrow \Phi^{PE} \rightarrow I^{PE}$	
ЗБЕРЕЖЕННЯ	
$D^{PE} \Rightarrow \Phi^{PE} \rightarrow I^{PE}$	
ПЕРЕДАВАННЯ	
	$D^{BE} \Rightarrow \Phi^{PE\ B} \rightarrow I^{PE\ B}$
$ D^{PE} \Rightarrow \begin{vmatrix} I^{PE} \\ I^{BE} \\ S(I) \end{vmatrix} \otimes D^{PE-B} $	

Державний еталон розроблено під керівництвом Л. В. Грищенка.

III Державний первинний еталон одиниць спектральної густини енергетичної яскравості, спектральної густини сили випромінювання та спектральної густини енергетичної освітленості; потужності випромінювання та енергетичної освітленості. ДЕТУ 11-06-06

Вимірювання в ультрафіолетовій області спектра мають велике значення. До складу ДЕ входить наступний комплекс апаратури: випромінювач типа абсолютне чорне тіло (ИЧТМ), пристрій для вимірювання відстані, пристрій для вимірювання апертури, еталонний оптичний пірометр, монохроматор, група первинних ламп змінного складу та приймач випромінювання. Контрольне вимірювання температур ИЧТМ виконується за допомогою еталонного оптичного пірометра ЭОП-93, прокаліброваного на ДЕ одиниці температури за випромінюванням при температурі плавлення міді, а результати екстрапольовано до температури 2400 К. Одиниці спектральних характеристик випромінювання зберігаються на групі первинних ламп змінного складу після передачі методом компарування за допомогою монохроматора МДР-41. Випромінювання, що виходить з монохроматора, реєструється за допомогою приймачів. В області спектра до 1100 нм використовується приймач на базі кремнієвого фотодіода, в області до 2500 нм – оптико-акустичний приймач ОАП7-1. Відтворення одиниць інтегральних характеристик випромінювання здійснюється в спектральних інтервалах, що вирізаються вихідною щілиною монохроматора, за допомогою абсолютних приймачів, які реєструють випромінювання стабілізованих ламп. Положення кріогенного радіометра, неселективного приймача трап-детектора таке, що випромінювання фокусується на чутливих елементах приладів. Спектральна густина - Вт/(м³•ср). Випромінювач типу абсолютно чорного тіла (АЧТ) забезпечує максимальну температуру 2000 °С. Найбільш цим вимогам задовольняє графіт. Високотемпературний матеріал графіт достатньо міцний при низьких температурах а з підвищенням температури вище 1700 -1800 °С він міцніше усіх оксидів і металів. З усіх марок графіту найбільш придатні марки МПГ-6, МПГ-7, ГМЗ-ОСЧ; вибрано МПГ-6. Однакові значення та характер залежності термо-ЕРС та електропровідності для масивних монокристалів і плівок говорить про незначний вклад квантових ефектів при товщині більше 0,05 мкм. Експерименти, які потребують тільки відносні вимірювання для визначення, це так звані самокалібрувальні експерименти. Одиниця потужності випромінювання відтворюється шляхом прямих вимірювань за допомогою абсолютного кріогенного радіометра АҚР-05 в діапазоні спектра від 0,2 мкм до 2,5 мкм. Одиниця енергетичної освітленості в області спектра від 0,2 мкм до 1,1 мкм відтворюється за допомогою прокаліброваного трап-детектора, а в області спектра 1,1 мкм до 2,5 мкм за допомогою прокаліброваного абсолютного приймача випромінювання АП-300. Після відтворення одиниць інтегральних характеристик випромінювання зберігаються на первинних приймачах випромінювання, яким вони передаються методом опосередкованих вимірювань з врахуванням нееквівалентності. Однією з важливих частин еталона є абсолютний кріогенний радіометр (АҚР), який в наш час у світі є найбільш точним приладом для вимірювання потужності оптичного випромінювання. З ним пов'язаний прогрес у сучасній радіометрії, фотометрії і радіаційній термометрії. Крім того АҚР дозволяє побудувати всю систему радіометричних, спектрометричних і фотометричних еталонів найбільш компактним чином. Разом з тим в склад еталона було введено випромінювач типу АЧТ, як універсальне джерело, випромінювання якого описується фундаментальним законом Планка. Використання АҚР та випромінювача типу АЧТ створює універсальні можливості для ДЕ. Але проблемою випромінювача типу АЧТ при відтворенні спектрометричних величин є визначення його температури. Розглянемо докладніше проблему вимірювання температури випромінювача типу АЧТ та доцільність поєднання його з абсолютним приймачем випромінювання при рішенні поставленої задачі. МТШ-90 заснована на температурах реперних точок, які прийняті міжнародною спільнотою. Значення температур, приписані рівноважним станам, постійно уточнюються [2] а вимірювання між цими точками зводиться до інтерполяції за допомогою датчиків, які мають відому залежність певного параметра від різниці температур. Однак точність визначення міжнародної температурної шкали вже виявилася недостатньою для побудови радіометричних еталонів, що відповідають світовому рівню розвитку таких видів вимірювань, як радіометричні, спектрометричні, фотометричні. Бурхливий прогрес радіаційних методів вимірювань змінив ситуацію. Поява нових класів абсолютних приймачів-фотодіодів, що самі калібруються, та кріогенних радіометрів – дозволило суттєво підвищити точність радіаційних вимірювань. Більше того, сама температурна шкала удосконалюється завдяки радіаційному методу [5]. Використання закону Планка дозволяє зв'язати результати таких вимірювань або з яскравісною, з кольоровою або з радіаційною температурою. Для випромінювача типу АЧТ, з випромінювальною здатністю, близькою до 1, ці температури з високим ступенем точності співпадають з термодинамічною. Питання первинності температури або радіаційних величин в різних країнах вирішується по-різному. В Японії (ТТЛ), Франції (ІНМ), Китаї (НІМ), Німеччині (НТВ) радіаційна шкала заснована на моделях чорного тіла з відомою температурою. Звичайно це моделі чорного тіла (МЧТ) у точці золота, за яким калібруються графітові МЧТ, або лампи. В Австралії (СІІРО), Угорщині (ОММ), Іспанії (ІОМ), Канаді

(NRCC), ЮАР (DPT) – це приймачі з відомою абсолютною чутливістю, звичайно з електричним заміщенням та зі скляними або інтерференційними фільтрами перед ними. В Австралії – це приймачі з відомою спектральною чутливістю, звичайно з електричним заміщенням та зі скляними або інтерференційними фільтрами перед ними. Особливим випадком є побудова спектро радіометричної шкали в Росії (ВНИИОФИ), де для вимірювання температури чорного тіла за методом Вульфсона використовуються приймач, від якого не потрібні точні відомості про чутливість, потрібне тільки точне дотримання неселективності. У США перейшли від підтримування шкали на основі моделі чорного тіла у точці золота до підтримування шкали на основі високоточного кріогенного радіометра з електричним заміщенням. Через зростаючі вимоги до точності вимірювань визначення шкали за допомогою приймача дозволяє відмовитися від використання опорних точок міжнародної шкали на користь абсолютних вимірювань потужності і це відповідає світовим тенденціям в галузі спектро радіометричних вимірювань. Додатковим аргументом на користь приймачів служить поступовий перехід більшості країн до підтримання фотометричних одиниць саме на їх основі. При цьому температурні та фотометричні вимірювання виявляються тісно пов'язаними. Найбільш яскраво це виявилось в Австралії, де спектро радіометрична шкала підтримується за допомогою лампової моделі чорного тіла, температура якого вимірюється фотометром. З іншого боку, чутливість приймача зазвичай відома на дискретних довжинах хвиль, що пов'язано або з областю пропускання вузькосмугового фільтра, або з лазерними довжинами хвиль, на яких приймач калібрується за кріогенним радіометром. Спектральний розподіл потужності випромінювання АЧТ з відомою температурою може бути визначений для будь-якої довжини хвилі. В цьому розумінні випромінювач абсолютно чорне тіло є природним доповненням для приймача з відомою абсолютною чутливістю. Відомо використання для вимірювання температури як широкосмугових, так і вузькосмугових приймачів. В звичайних лабораторних умовах під час використання селективних приймачів випромінювання та при наявності вікна у випромінювачів, повітряного середовища, а також інших факторів, що впливають на вимірювання, останні краще виконувати у вузьких спектральних областях. Так в Росії для визначення температури вакуумної моделі чорного тіла використовується як спектрофотометр, який виконує функції вузько смугового фільтра, що перестроюється, так і широкосмуговий селективний приймач. Спектр моделі чорного тіла відповідає спектру рівноважного джерела випромінювання з високою точністю. У зв'язку з викладеним вище, задача вимірювання температури випромінювача типу АЧТ за допомогою радіометра з вузько смуговим фільтром є перспективою для відтворення та передачі спектро радіометричних величин. Чутливість такого радіометра для вимірювання показників джерела випромінювання визначається умовами його використання. Створення випромінювача типу АЧТ на температурі вище 3000 К є складною технічною задачею. Тому на цей час обмежуються випромінювачем з температурою близько 2400 К. При таких температурах потужність випромінювання в УФ області спектра є досить малою і необхідно додаткове джерело випромінювання, наприклад, дейтерієва лампа. Оптимальним рішенням є використання синхротронного випромінювання, яке описується добре відомими формулами і в цьому сенсі може замінювати випромінювачі типу АЧТ в ультрафіолетовій (УФ) області спектра. Загальним суттєвим недоліком роботи з плівковим радіометром є неперервний дрейф сигналу термобатареї, зумовлений зміною фоновим випромінювання в вакуумній камері, який має місце внаслідок зміни її температури. Практично досягнута мінімальна потужність, що реєструється, виявилася пов'язаною не з шумами термобатареї (10^{-8} Вт), а зі швидкістю дрейфу ($2 \cdot 10^{-7}$ Вт). Одиниці спектральних характеристик зберігаються на групі первинних ламп змінного складу після передачі методом компарування за допомогою монохроматора МДР-41. Випромінювання, що виходить з монохроматора, реєструється за допомогою приймачів.

Таблиця 3 - Відтворення, зберігання та передавання одиниць (спектральних характеристик випромінювання) в ДЕГУ 11-06-06

Первинний еталон	Вторинний еталон
ВІДТВОРЕННЯ	
$T^{\text{ПЕ}}_{\text{ИЧТМ}} \rightarrow I^{\text{ПЕ}}_{\text{піромтер}} \Rightarrow B(\lambda, T)_{\text{ИЧТМ}}$	
ЗБЕРЕЖЕННЯ	
$T^{\text{ПЕ}}_{\text{ИЧТМ}} \rightarrow I^{\text{ПЕ}}_{\text{піромтер}} \rightarrow B(\lambda, T)_{\text{ИЧТМ}} \Rightarrow$ $T^{\text{ПЕ}}_{\text{лампи}} \rightarrow I^{\text{ПЕ}}_{\text{піромтер}} \rightarrow B(\lambda, T)_{\text{лампи}}$	
ПЕРЕДАВАННЯ	
$T^{\text{ПЕ}}_{\text{лампи}} \rightarrow I^{\text{ПЕ}}_{\text{ИЧТМ}} \rightarrow B(\lambda, T)_{\text{ПЕ}}_{\text{лампи}} \Rightarrow$	$\Rightarrow T^{\text{ПЕ}}_{\text{ламп}} \rightarrow I^{\text{ВЕ}}_{\text{піромтер}} \rightarrow B(\lambda, T)_{\text{ВЕ}}_{\text{лампи}}$

$$\left| \frac{T^{PE}_{ИЧТМ}}{B(\lambda, T)^{PE}_{\text{лампи}}} \right| \otimes \left| \frac{I^{PE}_{\text{піромметр}} Q^{PE}_{\text{АКР}}}{T^{BE}_{\text{лампи}} = T^{PE}_{\text{лампи}} I^{BE}_{\text{лампи}}} \right| \Rightarrow \left| \frac{T^{BE}_{\text{лампи}}}{B(\lambda, T)^{BE}_{\text{лампи}}} \right|$$

$I^{PE}_{ИЧТМ}$ – струм на фотодіоді пірометра первинного еталона при експонуванні від ИЧТМ;

$I^{PE}_{\text{піромметр}}$ – струм на фотодіоді пірометра первинного еталона при експонуванні від ламп первинного еталона;

$I^{PE}_{\text{лампи}}$ піромметр – струм на фотодіоді пірометра первинного еталона при експонуванні від ламп вторинного еталона;

$B(\lambda, T)_{ИЧТМ}$ – спектральна густина енергетичної яскравості Вт/(м³·ср) ИЧТМ первинного еталона;

$B(\lambda, T)^{BE}_{\text{лампи}}$ – спектральна густина енергетичної яскравості на температурних лампах при передачі одиниці вторинному еталону;

$T^{PE}_{ИЧТМ}$ – температура випромінювача типу абсолютного чорного тіла (ИЧТМ) на первинному еталоні;

$T^{PE}_{\text{лампи}}$ – температура на лампах первинного еталона;

$T^{BE}_{\text{лампи}}$ – температура на лампах вторинного еталона.

$Q^{PE}_{\text{АКР}}$ – теплота що виділяється на АКР первинного еталона.

Ті самі фізичні величини з верхнім індексом ^{BE} відносяться до вторинного еталону.

Державний еталон розроблено під керівництвом д. т. н. Л. А. Назаренка.

IV Державний еталон одиниць середньої потужності та енергії лазерного випромінювання великих рівнів. ДЕТУ 11-07-06

Діапазон відтворення значень середньої потужності неперервного когерентного випромінювання від 10 Вт до 1000 Вт. Застосування метода електричного заміщення потужності дозволяє прив'язати ДЕ до існуючих ДЕ електрорушійної сили – вольт та електричного опору – ома. Один із основних функціональних блоків еталона – еталонний первинний вимірювальний перетворювач (ЕПВП) побудовано на калориметричному принципі. ДЕ складається з комплексу ЗВТ, до яких входить джерело неперервного лазерного випромінювання на довжині хвилі 10,6 мкм на базі випромінювачів ИЛГН-707 та ИЛГН-704. На зовнішній поверхні ЕПВП рівномірно розташовано на однаковій відстані один від одного декілька рядів термоперетворювачів та нагрівачів. Термоперетворювачі розділено на n ідентичних секцій по ділянкам рівної довжини вздовж конусу, кожна секція має автономні виводи. Така конструкція дозволяє знизити систематичну похибку метода електричного заміщення, викликану неідентичністю теплового контакту термоперетворювачів і нагрівачів з калориметричним тілом, а також неідентичністю чутливості термоперетворювачів за рахунок зближення моделей розсіювання теплового випромінювання при оптичному та електричному впливах. При калібруванні ЕПВП на нього подається попередньо розрахована електрична потужність і зміною її в незначних межах домагаються, щоб покази ЕПВП ($U_{\text{ел}}$) при впливі цієї електричної потужності Рел співпадали з показами $U_{\text{оп}}$ під час впливу оптичного випромінювання. Для роботи у складі ДЕ було розроблено високоточний калориметричний вимірювальний перетворювач, який забезпечує вимірювання потужності лазерного випромінювання з сумарної похибкою, що не перевищує 0,5 % з коефіцієнтом перетворення на менше 100 мВ/Вт на довжині хвилі 10,6 мкм і коефіцієнтом поглинання не менше 0,95. Кожну секцію термопари перетворювача виготовлено з константового дроту діаметром 0,1 мм на тонкостінному діелектричному циліндрі з подальшим покриттям половини периметра кожного витка міддю. Систему вимірювання відносного рівня середньої потужності випромінювання виконано на основі вимірювача потужності лазерного випромінювання, який складається з болометричного вимірювального перетворювача (приймач-свідок) прохідного типу на основі решітчастого болометричного перетворювача. Послідовність роботи наступна. Зареєструвати нульові покази ЕПВП (покази за відсутності впливу лазерного випромінювання та електричної потужності заміщення), після чого ввести оптичне випромінювання в ЕПВП. Провести калібрування ЕПВП. Для цього подати попередньо розраховану потужність на ЕПВП і добитися щоб покази ЕПВП при впливі електричної потужності співпадали з показами під час впливу оптичного випромінювання.

Таблиця 4 - Відтворення, зберігання та передавання одиниці потужності в ДЕТУ 11-07-06

Первинний еталон	Вторинний еталон
ВІДТВОРЕННЯ	
$P^{\text{ПЕ}}_{\text{СП}} \Rightarrow Q^{\text{ПЕ}} \rightarrow T^{\text{ПЕ}} \rightarrow U^{\text{ПЕ}}_{\text{термо-ЕРС}} \rightarrow$ $U^{\text{ПЕ}}_{\text{заміщення}} =$ $\rightarrow T^{\text{ПЕ}}_{\text{заміщення}} = \rightarrow T^{\text{ПЕ}}_{\text{заміщення}} = \rightarrow$ $Q^{\text{ПЕ}}_{\text{заміщення}} = \rightarrow U^{\text{ПЕ}}_{\text{термо-ЕРС}} = \rightarrow$ $U^{\text{ПЕ}}_{\text{заміщення}} =$	
ЗБЕРЕЖЕННЯ	
$U^{\text{ПЕ}}_{\text{заміщення}} = \Rightarrow Q^{\text{ПЕ}}_{\text{заміщення}} = \rightarrow T^{\text{ПЕ}} \rightarrow$ $U^{\text{ПЕ}}_{\text{термо-ЕРС}} = \Rightarrow P^{\text{ПЕ}}_{\text{СП}}$	
ПЕРЕДАВАННЯ	
$P^{\text{ПЕ}}_{\text{СП}} \Rightarrow$	$\Rightarrow P^{\text{ПЕ}}_{\text{СП}} \Rightarrow U^{\text{ВЕ}} \approx \Rightarrow Q^{\text{ВЕ}} \rightarrow T^{\text{ВЕ}} \rightarrow U^{\text{ВЕ}}_{\text{термо-ЕРС}} =$ \rightarrow $U^{\text{ВЕ}}_{\text{заміщення}} = \rightarrow Q^{\text{ВЕ}}_{\text{заміщення}} =$
$U^{\text{ПЕ}}_{\text{заміщення}} = \Rightarrow$	$\Rightarrow U^{\text{ВЕ}}_{\text{заміщення}} =$
$\left P^{\text{ПЕ}} \right \otimes \begin{matrix} U^{\text{ВЕ}}_{\text{термо-ЕРС}} \approx \\ Q^{\text{ВЕ}} = \\ U^{\text{ВЕ}} = U^{\text{ПЕ}} \\ U^{\text{ВЕ}}_{\text{термо-ЕРС}} = \\ Q^{\text{ВЕ}}_{\text{заміщення}} = \end{matrix}$	$\Rightarrow \left P^{\text{ВЕ}} \right $

Державний еталон розроблено під керівництвом Л. В. Грищенка.

У табл. 4 наведено такі позначення: $Q^{\text{ПЕ}}$ – теплота, що виділяється на ЕПВП державного еталона при опромінюванні лазером; $P^{\text{ПЕ}}_{\text{СП}}$ – середня потужність лазерного випромінювання; $T^{\text{ПЕ}}$ – температура, до якої нагрівається чутливий елемент ЕПВП при опромінюванні лазером; $U^{\text{ПЕ}}_{\text{термо-ЕРС}} =$ – термо-ЕРС на ЕПВП ДЕ; $T^{\text{ПЕ}}_{\text{заміщення}} =$ – температура, до якої нагрівається чутливий елемент при подачі напруги заміщення; $U^{\text{ПЕ}}_{\text{заміщення}} =$ – напруга заміщення постійного струму на ЕПВП ДЕ; $Q^{\text{ПЕ}}_{\text{заміщення}} =$ – теплота заміщення при постійній напрузі.

Ті самі фізичні величини з верхнім індексом ^{ВЕ} відносяться до вторинного еталону.

У табл. 1 – 4 формули для передавання одиниць вимірювань мають не строго математичний сенс, а є символічним та логічним записом, як передаються одиниці вимірювань через приладдя у складі ДЕ.

Описи функціонування зазначених вище державних еталонів та їх склад взято із відповідних описів [1 – 10] цих еталонів, інструкцій з експлуатації, державних стандартів на відповідні повірочні схеми та наукових статей. Авторам належить символічний запис та логічні схеми зберігання, відтворення та передаванні одиниць вимірювань.

V Висновки

Проаналізовано шлях передавання одиниць фізичних величин у вимірювальних схемах чотирьох державних еталонів з оптики. При використанні відомих записів визначення фізичних величин із системи рівнянь (оскільки у цих рівняннях невідомі величини можуть входити у другій та вищих ступенях) у ході розв’язання таких систем рівнянь втрачається наочність.

Для спрощення сприйняття достатньо складних фізичних процесів, які відбуваються в державних первинних еталонах під час відтворення, зберігання та передавання одиниць вимірювань, запропоновано (поряд з використанням вимірювального рівняння у формі $A = f(a, b, c, d)$) записувати рівняння вимірювань в символічній та символічній матричній формі. Логічні записи можуть знайти застосування під час проведення калібрувальних робіт з вторинними та робочими еталонами з метою вибору найоптимальнішого метода калібрування, а також для процедури звірень державних первинних еталонів України із закордонними. Запропоновані символічні записи можуть сприяти проведенню калібрування вторинних еталонів, а також підрахунку похибок та невизначеності вимірювань, у тому числі в галузі ТЗІ.

Література: 1. ДСТУ 3539-97 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань середньої потужності лазерного випромінювання та енергії імпульсного лазерного випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 0,3 до 12,0 мкм 2. ДСТУ 4086-2001 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів

вимірювань оптичної густини матеріалів. 3. Международный стандарт ISO 5/1-1984 Фотография – Денситометрия. Термины, буквенные обозначения и форма записи. 4. Ишанин Г. Г. Приемники оптического излучения оптических и оптико-электронных приборов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 175 с. 5. Богачкин В. А., Втулкин П. П., Дрожбин Ю. А. и др. // Фотометрия и ее метрологическое обеспечение: Тез. Докл. 5 Всесоюзной научно-технической конф. – М.: ВНИИОФИ. – 1984. – с. 149. 6. Балабан В. М., Грищенко Л. В., Мунтян К. И. // Метрологія в електроніці – 2000: Наук. праці III Міжнар. наук.-техн. конф. у 2-х томах. Т.2. – Харків: ХДНДМ, 2000. – С. 101-103. 7. The International Temperature Scale of (ITS-90) // Metrologia. – 1990. – V.27. P. 3–10. 8. ДСТУ Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань спектральної густини енергетичної яскравості, спектральної густини сили випромінювання та спектральної густини. 9. ДСТУ Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань середньої потужності та енергії лазерного випромінювання великих рівнів. 10. Грищенко Л. В., Демин О. А., Мачехин Ю. П. // Український метрологічний журнал. – 2000.– Вип.1 – С.54–57. 11. Захаров Э. П., Павленко Ю. Ф. Эталонные в области электроизмерений. Справочное пособие. – М.: Горячая линия – Телеком. – 2008. – 192 с.; ил. ISBN 978-5-9912-0032-5.

УДК 004:621.396.62

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЛОКАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Владимир Чумаков

Академия ВМС им. П. С. Нахимова

Анотація: Наведено результати аналізу вольтамперних характеристик (ВАХ) біполярних транзисторів та отримано вирази для параметрів нелінійності. Показано можливість розрахунку режиму транзистора, за якого отримуються певні значення параметрів нелінійності. Розглянуто перспективи використання отриманих результатів в системах технічного захисту інформації.

Summary: Analysis results of volt-ampere characteristics (VAC) of bipolar transistors are shown and expressions are got for the parameters of non-linearity. Possibility of calculation of the regime of transistor which the defined values of parameters of non-linearity turn out for is shown. Perspectives of results using in systems of information defence are observed.

Ключевые слова: Нелинейность, биполярный транзистор, вольтамперная характеристика, крутизна, гармоника тока.

I Введение

Для обнаружения средств несанкционированного доступа к информации в системах информационной безопасности используется метод нелинейной локации [1]. Как правило, обнаружение радиосредств, содержащих полупроводниковые приборы, осуществляется по регистрации 2-й и 3-й гармоник зондирующих радиосигналов, переизлученных в результате нелинейности ВАХ полупроводникового прибора. Основу элементной базы современных радиосредств составляют транзисторы, поэтому именно реакция нелинейных структур транзисторных компонентов определяет величину отклика на входе обнаружителя. Представляется актуальным получить оценку амплитудной зависимости относительного уровня реакции транзистора расчетным путем на основе модели транзистора. Рассмотрим модель биполярного транзистора и рассчитаем параметры нелинейности ВАХ.

II Модель биполярного транзистора

В активном режиме в схеме с общим эмиттером (ОЭ) статические характеристики транзистора в модели Эберса–Молла описываются выражениями [2]

$$i_{\kappa} = I_{e0} \frac{\alpha}{1 - \alpha \alpha_u} \left(e^{\frac{q u_{\delta}}{kT}} - 1 \right) - I_{\kappa 0} \frac{1}{1 - \alpha \alpha_u} \left[e^{\frac{q(u_{\kappa} - u_{\delta})}{kT}} - 1 \right], \quad (1)$$

$$i_{\delta} = I_{e0} \frac{1 - \alpha}{1 - \alpha \alpha_u} \left(e^{\frac{q u_{\delta}}{kT}} - 1 \right) + I_{\kappa 0} \frac{1 - \alpha_u}{1 - \alpha \alpha_u} \left[e^{\frac{q(u_{\kappa} - u_{\delta})}{kT}} - 1 \right], \quad (2)$$